

Θέματα Πειραματικής Διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών

Π. Γ. Μιχαηλίδης, michail@edc.uoc.gr

Αναπληρωτής Καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Κρήτης.

Ό,τι για κάποιον περνά απαρατήρητο για έναν άλλο αποτελεί σπουδαία πληροφορία.

Θεοί μεν γαρ μελλόντων, άνθρωποι δε γιγνομένων, σοφοί δε προσιόντων αισθάνονται.
Φιλόστρατος, Τα ες τον Τυανέα Απολλώνιον, VIII, 7

ΣΟΦΟΙ ΔΕ ΠΡΟΣΙΟΝΤΩΝ

Οι άνθρωποι γνωρίζουν τα γινόμενα.

Τα μέλλοντα γνωρίζουν οι θεοί, πλήρεις και μόνοι κάτοχοι πάντων των φώτων.

Εκ των μελλόντων οι σοφοί τα προσερχόμενα αντιλαμβάνονται.

Η ακοή αυτών εν ώραίς σοβαρών σπουδών ταραττεται.

Η μυστική βοή τούς έρχεται των πλησιαζόντων γεγονότων.

Και την προσέχουν ευλαβείς.

Ενώ εις την οδόν έξω, ουδέν ακούουν οι λαοί.

Κ. Π. Καβάφη, ΠΟΙΗΜΑΤΑ (1896-1918),
Φιλολογική επιμέλεια Γ. Π. Σαββίδη, ΙΚΑΡΟΣ, Αθήνα 1966

Σύνοψη¹

Σε μεγάλο βαθμό, η ανάπτυξη των Φυσικών Επιστημών βασίζεται στη συλλογή δεδομένων από (συστηματικές) παρατηρήσεις και την περαιτέρω επεξεργασία τους. Η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει τη σύγκριση των δεδομένων μεταξύ τους ή/και με δεδομένα από άλλες παρατηρήσεις για την επισήμανση δομής, τον σχηματισμό υποθέσεων και τον πειραματικό τους έλεγχο, την (επαγωγική) κατασκευή μοντέλων (θεωριών) και τον έλεγχο των προβλέψεων τους. Σε όλα τα στάδια αυτά, γνωστά και ως ‘επιστημονική μεθοδολογία’, η δυνατότητα αποτελεσματικής κοινοποίησης των ευρημάτων και των συμπερασμάτων της επεξεργασίας των στοιχείων, αποτελεί βασική δεξιότητα. Η ανάπτυξη δεξιοτήτων παρατήρησης για τη συλλογή δεδομένων, επεξεργασίας των δεδομένων για την επισήμανση δομής, σχηματισμού υποθέσεων και πειραματικού ελέγχου της ορθότητας αυτών, κατασκευής και χρήσης μοντέλων και ελέγχου των προβλέψεων των αποτελεί βασικό συστατικό μιας καλής Διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών.

Η ανάπτυξη δεξιοτήτων ‘επιστημονικής μεθοδολογίας’ κατά τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, με τη συστηματική και καλή γνώση για τον Φυσικό Κόσμο που επάγει, αποτελεί πρόσφορο μέσο αντιμετώπισης της έλλειψης επιστημονικού και τεχνολογικού αλφαριθμητισμού. Επιπλέον αποτελεί το καλύτερο μέσο για την ανάπτυξη δημιουργικής (ή κριτικής σκέψης), ιδιαίτερα ως προς τα επίπεδα των διανοητικών δεξιοτήτων και της γνωστικής στρατηγικής. Η καλλιέργεια της επιστημονικής μεθοδολογίας αποτελεί, πρέπει να αποτελεί, βασικό σκοπό της υποχρεωτικής εκπαίδευσης μιας δημοκρατικής κοινωνίας. Σημειώνεται πως το Ενιαίο Πλαίσιο Προγράμματος Σπουδών για τις Φυσικές Επιστήμες περιλαμβάνει ως ρητό σκοπό των μαθημάτων για τις Φυσικές Επιστήμες, την κατασκευή μοντέλων από παρατηρήσεις.

Στην εργασία αυτή σχολιάζονται συνοπτικά τα βασικά σημεία της επιστημονικής μεθοδολογίας. Παρουσιάζονται, με μορφή παραδειγμάτων και παρατηρήσεων από την καθημερινή ζωή, ορισμένα παραδείγματα σχηματισμού μοντέλων και εφαρμογής των για συναγωγή συμπερασμάτων και περαιτέρω προβληματισμό και αναζήτηση.

1.-Η παρατήρηση και το πείραμα για την άντληση δεδομένων (π.χ. με μετρήσεις και την μετέπειτα επεξεργασία τους), η συσχέτιση των δεδομένων μεταξύ τους και ο σχηματισμός ολοκληρωμένων θεωριών για τον Κόσμο που μας περιβάλλει αποτελεί βασικό συστατικό της Διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών. Σύμφωνα με το Αναλυτικό Πρόγραμμα, Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών²:

- Καλύπτει όλους τους τομείς μάθησης, γνωστικό, συναισθηματικό, ψυχοκινητικό και συμμετοχικό,
- Αποσκοπεί, ιδιαίτερα στην υποχρεωτική εκπαίδευση, στην απόκτηση γνώσεων των γενικών αρχών και νόμων και όχι σε τεχνικές γνώσεις
- Αποσκοπεί στην ανάπτυξη δεξιοτήτων αυτοδύναμης μάθησης και, γενικότερα, στην ανάπτυξη σύνθετων νοητικών δεξιοτήτων και δημιουργικής σκέψης
- Απαιτεί από το Δάσκαλο βαθιά γνώση των βασικών αρχών των Φυσικών Επιστημών

Τα πειράματα και οι συστηματικές παρατηρήσεις αποτελούν βασικό συστατικό της Διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας. Η χρήση τους αναπτύσσει και διατηρεί το ενδιαφέρον των μαθητών, και περιορίζει τις παρανοήσεις που μπορεί να αναπτυχθούν κατά την αφηγηματική διδασκαλία. Παρέχουν επίσης έναν εναλλακτικό τρόπο επικοινωνίας που βοηθά στην αντιμετώπιση προβλημάτων ορθής επικοινωνίας μέσω του προφορικού λόγου (όπως και η εργασία σε ομάδες με Project Based Learning), κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις π.χ. μεταναστών ή άλλων μειονεκτούντων προσώπων. Η παρατηρούμενη απουσία τους από τη διδασκαλία στα σχολεία ίσως εξηγεί σε κάποιο βαθμό την παρατηρούμενη αποτυχία αλφαριθμητισμού του πληθυσμού σε θέματα Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας. Η διδασκαλία με πειράματα (σε μικρό βαθμό και με παρατηρήσεις) βασίζεται σε μάθηση με παράδειγμα (ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της 'μαθητείας'), απαιτεί σε κάποιο βαθμό ανάπτυξη ψυχοκινητικών δεξιοτήτων και, σε κάποιες περιπτώσεις, αυξημένα μέτρα ασφαλείας για την αποφυγή ατυχημάτων. Για τους λόγους αυτούς, η διδασκαλία με πειράματα απαιτεί συνήθως άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ 'δασκάλου' και 'μαθητή' κάτι που είναι κουραστικό για τον δάσκαλο.

2.-Για να είναι αποτελεσματική³ ως προς την ανάπτυξη δημιουργικής σκέψης στους μαθητές, η Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών πρέπει να διέπεται από την 'επιστημονική μεθοδολογία' βασικό συστατικό της οποίας αποτελεί η 'Επιστημονική αναζήτηση' (χρησιμοποιείται επίσης ο όρος 'διερώτηση'⁴). Η επιστημονική μεθοδολογία αποτελεί βασικό στοιχείο κάθε επιστήμης και ιδιαίτερα των Φυσικών Επιστημών και συνίσταται στην εξής διαδικασία⁵:

- 2-1. εκτέλεση συστηματικών παρατηρήσεων (π.χ. πειραμάτων ή άλλες παρατηρήσεις φυσικών φαινομένων) από τις οποίες αντλούνται σχετικά με το θέμα μελέτης δεδομένα, π.χ. με τη μορφή εκτίμησης ή μέτρησης των τιμών κάποιων φυσικών μεγεθών,
- 2-2. εξέταση των δεδομένων για ανακάλυψη δομών, π.χ. σχέσεων μεταξύ των δεδομένων η μεταξύ αυτών και δεδομένων από άλλες παρατηρήσεις,
- 2-3. σχηματισμός εναλλακτικών μεταξύ τους υποθέσεων ως προς την εγκυρότητα των δομών που εντοπίστηκαν (συνήθως αφορά στατιστική εγκυρότητα),
- 2-4. έλεγχος των υποθέσεων. Αυτό γίνεται συνήθως με τη σχεδίαση και εκτέλεση 'επιστημονικών διερωτήσεων' ('scientific inquiry'), συνήθως με τη μορφή πειραμάτων. Το αποτέλεσμα του ελέγχου μπορεί να απορρίψει κάποιες από τις υποθέσεις. Ο στόχος είναι να αποκλειστούν όλες οι εναλλακτικές υποθέσεις εκτός από μία,
- 2-5. με βάση τις υποθέσεις, οι οποίες δεν απορρίφθηκαν σε προηγούμενα στάδια, σχηματίζονται μοντέλα για τα φαινόμενα που εξετάστηκαν στις παρατηρήσεις,
- 2-6. εφαρμογή των μοντέλων για το σχηματισμό προβλέψεων ως προς το τι αναμένεται να συμβεί, αν ισχύει το μοντέλο, σε άλλες (όμοιες) καταστάσεις, έλεγχος των προβλέψεων και, ανάλογα με το αποτέλεσμα, διατήρηση, προσαρμογή ή απόρριψη του μοντέλου,
- 2-7. με βάση τα αποδεκτά μοντέλα μπορούν να κατασκευαστούν με επαγωγικό τρόπο θεωρίες για το Φυσικό Κόσμο,

2-8. σε όλα τα προηγούμενα βήματα είναι απαραίτητος ένας ακριβής και σαφής τρόπος επικοινωνίας και κοινοποίησης των ευρημάτων, σκέψεων και εννοιών (π.χ. με γραφήματα, σχέδια, γραφικές παραστάσεις, πίνακες, τεχνικές αναφορές, κλπ.

Η μέθοδος αυτή ευνοεί την ανάπτυξη δημιουργικής και κριτικής σκέψης. Αυτό όμως εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις προσπάθειες που θα καταβληθούν για τον σχηματισμό και τον έλεγχο περισσότερων της μιας εναλλακτικών υποθέσεων, οι οποίες όμως στηρίζονται στα δεδομένα από τις παρατηρήσεις και το πείραμα. Η συνηθισμένη πρακτική στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών όπου από τις παρατηρήσεις μόνο ένα (το 'ορθό') συμπέρασμα συνάγεται, δυσχεραίνει την ανάπτυξη δημιουργικής και κριτικής σκέψης και παρουσιάζει και άλλα μειονεκτήματα..

3.-Εξετάζοντας τα βήματα της επιστημονικής μεθοδολογίας μπορεί κάποιος να οδηγηθεί στο συμπέρασμα πως η συλλογή δεδομένων προηγείται του σχηματισμού υποθέσεων και θεωριών, δηλ. πως αυτή αποτελεί μια **επαγωγική** διαδικασία. Πολλοί αμφισβητούν την άποψη αυτή με το σκεπτικό πως για τη συλλογή 'σχετικών δεδομένων' πρέπει ήδη να υπάρχει κάποιο κριτήριο ως προς το τι είναι 'σχετικά δεδομένα' άρα υπάρχει ήδη κάποια 'θεωρία' και, συνεπώς, η διαδικασία αυτή είναι μια **παραγωγική** (με παραγωγικούς συλλογισμούς δηλαδή) διαδικασία. Η διαμάχη αυτή μεταξύ 'επαγωγιστών' και 'παραγωγιστών', η οποία συνεχίζεται με εκατέρωθεν νέα επιχειρήματα, αποδείχτηκε πολύ καρποφόρα για την πρόοδο της ανθρώπινης σκέψης (βλέπε για παράδειγμα στα^{6,7,8,9,10,11}). Σημειώνω πάντως πως στη διαδικασία που περιγράφεται ανωτέρω, οι παρατηρήσεις και ο σχηματισμός θεωριών διαπλέκονται και εξελίσσονται παράλληλα και το να πιστεύει κανείς αποκλειστικά ('δογματικά') τη μια ή την άλλη άποψη δεν είναι χαρακτηριστικό της επιστήμης. Γιαυτό άλλωστε, αν και οι σύγχρονες θεωρίες για τον Κόσμο είναι 'πιο σωστές' (περιγράφουν δηλαδή καλύτερα τις παρατηρήσεις) από παλαιότερες, οι παλαιότερες θεωρίες διατηρούν την αξία τους και, μάλιστα, μπορεί να είναι πολύ χρήσιμες για τη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, ενώ και οι νεώτερες θεωρίες αναμένεται να αντικατασταθούν μελλοντικά από 'ακόμα πιο σωστές' με βάση νεώτερες παρατηρήσεις ή έναν άλλο τρόπο σκέψης.

Τα βήματα 2-2, 2-3, 2-5 προωθούν την ανάπτυξη δημιουργικής σκέψης. Αυτό όμως εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το αν καταβάλλεται προσπάθεια για την εύρεση περισσότερων υποθέσεων, θεωριών και μοντέλων που να εξηγούν τις παρατηρήσεις και, συγχρόνως, να αποτελούν 'εναλλακτικές' ερμηνείες¹². Γιαυτό κατά τη διδασκαλία πρέπει να παροτρύνονται οι μαθητές να σχηματίζουν περισσότερες εναλλακτικές μεταξύ τους υποθέσεις που να συμφωνούν όμως με τις παρατηρήσεις. Η διαδοδομένη πρακτική κατά την οποία από μια παρατήρηση ή πείραμα μόνο μια υπόθεση ή θεωρία (η 'σωστή' θεωρία) συνάγεται δεν αναπτύσσει τη δημιουργική σκέψη και παρουσιάζει και άλλα μειονεκτήματα.

Μια απλή μορφή πρόβλεψης αποτελεί ο υπολογισμός της τιμής ενός μεγέθους με παρεμβολή ή προεκβολή άλλων τιμών ή χρησιμοποιώντας κάποια σχέση (έναν 'Φυσικό Νόμο') με τιμές άλλων μεγεθών. Άλλη μορφή πρόβλεψης γίνεται όταν, με τη χρήση της συγκεκριμένης υπόθεσης ή θεωρίας επιχειρείται απάντηση σε ερωτήματα της μορφής 'τι θα συμβεί αν ...'. Οι προβλέψεις στο βήμα 2-6 και, έμμεσα στα βήματα 2-4 και 2-5, μπορεί τυπικά να εκφραστεί ως ένας έγκυρος σύμφωνα με τη Λογική συλλογισμός. Στον συλλογισμό αυτό, η μια πρόταση είναι από τη θεωρία και η δεύτερη εκφράζει τη πραγματική κατάσταση. Το συμπέρασμα τότε ελέγχεται (π.χ. πειραματικά ή με άλλου είδους επιστημονική παρατήρηση) και αν συμφωνεί με τη παρατήρηση ή το πείραμα αρχίζουμε να αποκτάμε εμπιστοσύνη στην ορθότητα της υπόθεσης ή της θεωρίας μας. Αν όμως το συμπέρασμα και η παρατήρηση δεν συμφωνούν τότε απαιτείται μια συνολική επανεξέταση όλης της διαδικασίας για να εντοπιστεί η αιτία της ασυμφωνίας. Η ασυμφωνία μπορεί να οφείλεται:

2-10. Η παρατήρηση δεν είναι ορθή (π.χ. λάθος μέτρηση)

2-11. Η παρατήρηση αφορά άλλη κατάσταση και όχι αυτό που νομίζεται

2-12. Η πρόταση που αναφέρεται στη θεωρία δεν είναι σωστή (λάθος εφαρμογή της θεωρίας)

2-13. Λάθος Λογικής (δηλαδή ο συλλογισμός δεν είναι έγκυρος)

2-14. Η παρατήρηση είναι σωστή, ο συλλογισμός είναι έγκυρος αλλά το συμπέρασμα δεν συμφωνεί με την παρατήρηση.

Οι περιπτώσεις της μορφής 2-10, 2-12 και 2-13 εντοπίζονται και μπορούν να αντιμετωπιστούν σχετικά εύκολα. Στην περίπτωση 2-14 είναι προφανές πως η υπόθεση ή η θεωρία δεν περιγράφουν ικανοποιητικά όσα παρατηρούνται και θέλουν διόρθωση ή προσαρμογή¹³. Η κατάσταση όμως δεν είναι πάντοτε ξεκάθαρη, ιδιαίτερα όσον αφορά τη διάκριση μεταξύ των περιπτώσεων 2-11 και 2-14. Παράδειγμα η περίπτωση του νετρίνο (ν). Στα τέλη της δεκαετίας του 1930 οι παρατηρήσεις έδειχναν πως στις (ασθενείς) πυρηνικές διασπάσεις η ολική ενέργεια πριν τη διάσπαση δεν ήταν ίση με την ολική ενέργεια μετά τη διάσπαση. Θεωρήθηκε πως βρισκόμαστε σε περίπτωση της μορφής 2-14 και ότι η ‘θεωρία’ (το αξίωμα διατήρησης της ενέργειας) δεν ισχύει. Όμως ο Pauli¹⁴ δεχόμενος ότι έχουμε περίπτωση της μορφής 2-11 εισήγαγε την ύπαρξη ενός νέου σωματιδίου χωρίς μάζα ηρεμίας (όπως π.χ. το φωτόνιο αλλά με διαφορετικές λοιπές ιδιότητες), το οποίο δεν είχε ανιχνευθεί στα μέχρι τότε πειράματα. Το σωματίδιο αυτό θα έχει τέτοια ενέργεια (και ορμή) ώστε να εξισώνει τη διαφορά που παρατηρείτο. Η ανακάλυψη επίσης των πλανητών Ποσειδώνα και Ουρανού είναι άλλο ένα παράδειγμα μεταξύ της περίπτωσης 2-14 (δηλαδή να απορριφθεί η θεωρία της ‘παγκόσμιας έλξης’ του Νεύτωνα) και 2-11 (παραδοχή μιας άλλης κατάστασης από αυτή που νομίζαμε –άλλοι πλανήτες εδώ- που δημιουργούν την απόκλιση μεταξύ παρατήρησης και θεωρίας)¹⁵.

3.-Είναι προφανές πως οι δεξιότητες παρατήρησης και κατάλληλου τρόπου επικοινωνίας και κοινοποίησης αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την καλή κατανόηση της Φυσικής. Κάποιες σχετικές επισημάνσεις αναφέρονται στα επόμενα.

Σύμφωνα με τους αρχαίους ‘νους ορά και νους ακούει’. Σύμφωνα με το Concise Oxford Dictionary (συνοπτικό λεξικό της Οξφόρδης), στα πλαίσια της επιστημονικής αναζήτησης, παρατήρηση είναι η προσεκτική και ακριβής παρακολούθηση και καταγραφή ενός φαινομένου κλπ. π.χ. με μετρήσεις ή άλλα δεδομένα. Η αποτελεσματική παρατήρηση απαιτεί ειδικές δεξιότητες (οι οποίες αντιστοιχούν στα είδη στα οποία ταξινομούνται οι διάφορες γνωστικές δεξιότητες στις θεωρίες μάθησης), όπως:

- 3-1.** Αναγνώριση των επιμέρους στοιχείων σε μια σύνθετη κατάσταση και εντοπισμός των χαρακτηριστικών τους. Η επισήμανση ομοιοτήτων και διαφορών αποτελεί ‘πολύ συναφή’ δεξιότητα.
- 3-2.** Ταξινόμηση των ευρημάτων (στοιχείων) με βάση κάποιο κριτήριο, το οποίο εξαρτάται από τη συγκεκριμένη μορφή διερώτησης
- 3-3.** Στη Φυσική, οι παρατηρήσεις συνήθως εμπεριέχουν εκτιμήσεις για τις τιμές διαφόρων μεγεθών (π.χ. απόσταση, βάρος, θερμοκρασία, δύναμη, ενέργεια, κλπ). οι εκτιμήσεις αυτές μπορεί να είναι με τη μορφή απλών συγκρίσεων με άλλα ομοειδή μεγέθη (π.χ. είναι βαρύτερο ή ελαφρύτερο) ή με τη μορφή μέτρησης (π.χ. το βάρος αυτού του σώματος είναι 1kg). Η αντίληψη των τιμών των μεγεθών καθώς και η σύγκριση τους με άλλα ομοειδή έστω και με τη μορφή εκτίμησης είναι βασική ιδιότητα για την σωστή τοποθέτηση στο φυσικό περιβάλλον.
- 3-4.** Η κοινοποίηση των ευρημάτων με τη κατάλληλη κάθε φορά μορφή
- 3-5.** Η δεξιότητα διάκρισης μεταξύ ευρημάτων από τις παρατηρήσεις και της αντίστοιχης ‘ερμηνείας’ που δίνουμε, συνήθως εφαρμόζοντας κάποιο μοντέλο ή θεωρία. Αν και τα μοντέλα και οι θεωρίες είναι χρήσιμες στη συλλογή και ταξινόμηση των ευρημάτων, η διάκριση αυτή είναι θεμελιώδης.

Για το 3-1 ανωτέρω, είναι απαραίτητες οι γνωστικές δεξιότητες ανάλυσης και σύνθεσης. Όταν τα επιμέρους στοιχεία ενός σύνθετου φαινομένου εντοπιστούν, η περιγραφή τους μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας ομοιότητες και διαφορές με άλλα (γνωστά) φαινόμενα π.χ. ως προς το μέγεθος, τη μορφή και τη κατάσταση κίνησης, τη βλάστηση, τη θερμοκρασία, το χρώμα, τη μάζα και το βάρος, τη πίεση, τη κατάσταση (στερεό, υγρό, αέριο, ...) κλπ. Αυτό συνήθως γίνεται χρησιμοποιώντας τις αισθήσεις μας ή ειδικά όργανα.

Για το 3-2 απαιτείται η ύπαρξη κάποιου κριτηρίου. Το κριτήριο αυτό (‘κριτήριο ταξινόμησης’) μπορεί να αναφέρεται σε κάποιο γενικό χαρακτηριστικό (π.χ. χρώμα, μορφή, μέγεθος, κλπ), στη δομή (π.χ. δίποδο, τετράποδο, αρθρωτό, ..., θάμνος, χλόη, δέντρο, ...), σε συμπεριφορά (π.χ. αποδημητικό πτηνό, φυλλοβόλο ή αειθαλές δέντρο, κλπ) ή σε άλλο παρατηρήσιμο

χαρακτηριστικό. Από την ταξινόμηση αυτή κατασκευάζονται ομάδες και άλλες δομές. Η κατασκευή 'ορισμών εργασίας' είναι επίσης ένα χρήσιμο εργαλείο. Οι ορισμοί αυτοί εργασίας μπορεί να είναι π.χ. με περιγραφή, με απαρίθμηση, με κανόνα, με παραδείγματα, κλπ κατά τρόπο ανάλογο με τον ορισμό ενός συνόλου στα Μαθηματικά. Αν και οι ορισμοί εργασίας μπορεί να μην είναι πάντοτε πλήρεις, πρέπει πάντοτε να αντιστοιχούν στις παρατηρήσεις και να έχουν εσωτερική συνοχή και συνάφεια. Η ορθή ορολογία αποτελεί θεμελιώδες συστατικό κάθε επιστήμης και, ειδικά, ο δάσκαλος των φυσικών Επιστημών πρέπει να επιμένει σ'αυτό¹⁶.

Οι εκτιμήσεις κάποιων μεγεθών μπορεί να γίνουν χρησιμοποιώντας τις αισθήσεις μας εφόσον οι ποσότητες των εκτιμώμενων μεγεθών βρίσκονται σε όρια αντιληπτά. Τέτοιες εκτιμήσεις μπορεί να γίνουν για την απόσταση (πλάτος, μήκος, ύψος), την επιφάνεια και τον όγκο, την πίεση, την επιτάχυνση, τον χρόνο, την ταχύτητα, τη λαμπρότητα κλπ. Η μέτρηση συνήθως αναφέρεται στη χρήση ειδικών συσκευών με τις οποίες προσδιορίζεται με κάποια ακρίβεια η τιμή του μετρούμενου μεγέθους (βλέπε 3-3 ανωτέρω). Συναφείς έννοιες αποτελούν η ακρίβεια, η ευαισθησία, το σφάλμα και το εύρος της μετρούμενης περιοχής, έννοιες οι οποίες πολύ συχνά είτε είναι άγνωστες είτε συγχέονται μεταξύ τους. Με τα περισσότερα όργανα μέτρησης, η τιμή του μετρούμενου μεγέθους συνάγεται έμμεσα από την τιμή ενός άλλου μεγέθους χρησιμοποιώντας κάποια θεωρία. Για παράδειγμα:

- Ο ζυγός με τους δυο βραχίονες συγκρίνει τις ροπές που προκαλούν το βάρος του σώματος που ζυγίζεται και το βάρος των σταθμών, οι οποίες, με βάση τη θεωρία μας ανάγονται σε σύγκριση μαζών.
- Το συνηθισμένο θερμόμετρο διαστολής συγκρίνει τον όγκο ενός υγρού (υδράργυρος, οινόπνευμα, κλπ) βάσει του μήκους που καταλαμβάνει στον κυλινδρικό σωλήνα και από τη σχέση όγκου ενός σώματος και θερμοκρασίας του και τη θεωρία μας για τη θερμική ισορροπία δύο σωμάτων συνάγεται η μετρούμενη θερμοκρασία.

Το σφάλμα μέτρησης μπορεί να είναι τυχαίο (π.χ. μη προσεκτική μέτρηση, λάθος καταγραφής, κλπ) ή συστηματικό (π.χ. να οφείλεται σε κακή κατασκευή ή βαθμονόμηση του οργάνου μέτρησης, σε χρήση του εκτός της περιοχής για την οποία έχει σχεδιαστεί, κλπ). Η εκτίμηση των σφαλμάτων μέτρησης αποτελεί πολλές φορές πολύ επίπονη εργασία.

Κατά τη διενέργεια παρατηρήσεων και πειραμάτων πρέπει πάντοτε να γνωρίζουμε (ή να κάνουμε 'λογικές παραδοχές') για τις ανεξάρτητες μεταβλητές, τις εξαρτημένες μεταβλητές και τις παραμέτρους που υπεισέρχονται. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές αναφέρονται σε μεγέθη ή τιμές των οποίων μπορεί να καθοριστεί (μέσα σε ορισμένα πλαίσια) ελεύθερα από τον παρατηρητή. Οι εξαρτημένες μεταβλητές αναφέρονται σε μεγέθη, οι τιμές των οποίων εξαρτώνται από τις τιμές των εξαρτημένων μεταβλητών και αποτελούν συνήθως το αντικείμενο της παρατήρησης ή του πειράματος. Οι τιμές αυτές μπορεί να εξαρτώνται και από άλλα μεγέθη, τα οποία όμως δεν αλλάζουν τιμή (ή δεχόμαστε ότι δεν αλλάζουν τιμή) και καλούνται παράμετροι. Το αποτέλεσμα των παρατηρήσεων εξαρτάται σημαντικά από τη σαφή αντίληψη και διάκριση για όλα τα μεγέθη που υπεισέρχονται στη παρατήρηση, εξαρτημένες μεταβλητές, ανεξάρτητες μεταβλητές και παραμέτρους.

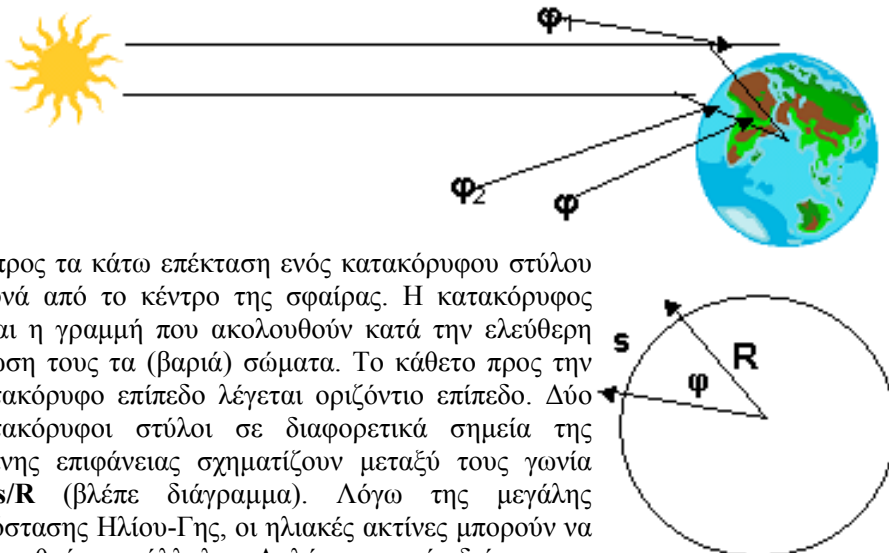
Η κοινοποίηση των ευρημάτων μπορεί να γίνεται με πολλούς τρόπους, προφορικά, γραπτή αναφορά, πίνακες, διαγράμματα, εικόνες, κλπ. Η σαφής κατανόηση των κανόνων και του περιεχόμενου κάθε τρόπου επικοινωνίας είναι πολύ σημαντική δεξιότητα.

Η διάκριση μεταξύ ευρημάτων και τρόπου ερμηνείας των, ιδιαίτερα στις μικρές ηλικίες, είναι πολύ σημαντική για την ανάπτυξη δημιουργικής σκέψης. Για παράδειγμα παρατηρούμε πως 'μια πέτρα πέφτει' (αυτό είναι η παρατήρηση) και όχι πως 'η Γη τραβά (ή έλκει) την πέτρα' (αυτό είναι η ερμηνεία – μια ερμηνεία- που δίνουμε στη παρατήρηση). Με ανάλογο τρόπο, παρατηρούμε πως 'όταν κλείσει ο διακόπτης το λαμπάκι ανάβει' και όχι 'όταν κλειστεί ο διακόπτης περνά ηλεκτρικό ρεύμα από το κύκλωμα'¹⁷.

4.-Τα μοντέλα αποτελούν νοητικές αναπαραστάσεις της αντίληψης μας για το μέρος εκείνο του Φυσικού κόσμου που εξετάζεται. Ένα μοντέλο περιλαμβάνει έννοιες που προέρχονται από

γεγονότα του φυσικού κόσμου ('φυσικά φαινόμενα')¹⁸ και σχέσεις μεταξύ τους (μια τέτοια σχέση π.χ. αποτελεί η σχέση αιτίου και αποτελέσματος). Συχνά χρησιμοποιείται ένα μοντέλο που έχει αναπτυχθεί για την περιγραφή ενός φαινομένου για να περιγράψει επίσης ένα διαφορετικό φαινόμενο. Στις περιπτώσεις αυτές, χρησιμοποιούνται οι σχέσεις (ή ορισμένες από τις σχέσεις) μεταξύ των εννοιών του μοντέλου για την περιγραφή των εννοιών του άλλου φαινομένου. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η χρήση του ηλιοκεντρικού μοντέλου της κίνησης των πλανητών για την περιγραφή της κατά Rutherford δομής του ατόμου κατά την οποία ο ήλιος υποκαθίσταται από τον πυρήνα του ατόμου, οι πλανήτες από τα ηλεκτρόνια του ατόμου και η βαρυτική δύναμη από τη δύναμη Coulomb μεταξύ πυρήνα και ηλεκτρονίων¹⁹. Με τον τρόπο αυτό τα μοντέλα είναι χρήσιμα στο να επεκτείνουν την αντίληψη μας για τα φυσικά φαινόμενα πέρα από τα όρια των αισθήσεων μας. Η χρήση μιας τέτοιας αναλογίας όμως θα πρέπει να γίνεται με περίσκεψη, ιδιαίτερα ως προς την έκταση της αναλογίας και τις πιθανές διαφοροποιήσεις και, σε κάθε περίπτωση, η καλή κατανόηση του μοντέλου που χρησιμοποιείται, είναι απαραίτητη. Έκφραση καλής κατανόησης ενός μοντέλου αποτελεί η εφαρμογή του σε διάφορες πραγματικές καταστάσεις και η συναγωγή προβλέψεων με βάση το μοντέλο. Για παράδειγμα (βλέπε Σχήμα 1), ο Ερατοσθένης, χρησιμοποιώντας το μοντέλο μιας σφαιρικής Γης και απλές γεωμετρικές σχέσεις

Σχήμα 1. Μοντέλο σφαιρικής Γης



Η προς τα κάτω επέκταση ενός κατακόρυφου στύλου περνά από το κέντρο της σφαίρας. Η κατακόρυφος είναι η γραμμή που ακολουθούν κατά την ελεύθερη πτώση τους τα (βαριά) σώματα. Το κάθετο προς την κατακόρυφο επίπεδο λέγεται οριζόντιο επίπεδο. Δύο κατακόρυφοι στύλοι σε διαφορετικά σημεία της Γήινης επιφάνειας σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία $\phi = s/R$ (βλέπε διάγραμμα). Λόγω της μεγάλης απόστασης Ηλίου-Γης, οι ηλιακές ακτίνες μπορούν να θεωρηθούν παράλληλες. Απλή γεωμετρία δείχνει πως $\phi = \phi_1 - \phi_2$.

Οι τόποι που χρησιμοποίησε Ερατοσθένης ήταν η Αλεξάνδρεια και το Ασουάν, μεγάλα διοικητικά κέντρα από την εποχή των Φαραώ. Η απόσταση τους ήταν γνωστή με ικανοποιητική ακρίβεια από τους συχνούς 'κρατικούς' ταχυδρόμους μεταξύ των δύο πόλεων. Προκειμένου να έχει ακρίβεια στη μέτρηση των γωνιών ϕ_1 και ϕ_2 αντί για πολύ υψηλούς κατακόρυφους στύλους χρησιμοποίησε (έτοιμα) βαθιά πηγάδια στις δύο πόλεις.

Η μέθοδος απαιτεί ταυτόχρονη μέτρηση των δύο γωνιών ϕ_1 και ϕ_2 . Καθώς εκείνη τη εποχή δεν υπήρχαν 'φορητά ρολόγια' ή άλλο 'στιγμιαίοι' τρόποι επικοινωνίας για τόσο μεγάλες αποστάσεις, πως νομίζετε πως έλυσε ο Ερατοσθένης το πρόβλημα της ταυτόχρονης μέτρησης;

υπολόγισε την περιφέρεια της (το μήκος του μεσημβρινού της Γης) με μια ακρίβεια εκπληκτική για την εποχή του²⁰. Με όμοιο τρόπο και λαμβάνοντας υπόψη την περιστροφή και την περιφορά γύρω από τον Ήλιο της Γης μπορεί να μετρηθεί το Γεωγραφικό μήκος και πλάτος ενός τόπου και να υπολογιστεί η περίοδος κάθε εποχής ('οι ώρες του έτους')²¹. Η αιτία της ασύμμετρης (ως προς την τοπική μεσημβρία) αύξησης ή μείωσης της διάρκειας της ημέρας μπορεί επίσης να διερευνηθεί (τα σχετικά δεδομένα για την Ανατολή και Δύση του Ηλίου υπάρχουν στα

ημερολόγια). Επίσης παρατηρώντας τη διαφορά χρόνου της 'Δύσης' του Ήλιου στο έδαφος και στην οροφή ενός (υψηλού) κτιρίου, μπορεί να υπολογιστεί η ακτίνα της Γης.

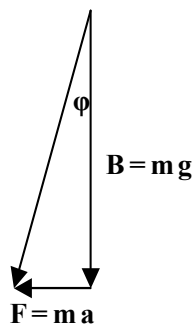
5. Η δεξιότητα κατασκευής μοντέλων μπορεί να αναπτυχθεί με κατάλληλες διδακτικές ενέργειες. Για παράδειγμα²²: Είσαστε απορροφημένοι στις σκέψεις σας όταν ένα γαύγισμα αποσπά την προσοχή σας. Τι θα σκεφθείτε; Να μερικές απαντήσεις:

- Πρόκειται για ένα σκυλί.
- Είναι ένα λυκόσκυλο.
- Είναι ένα πεκινουά.
- Που βρέθηκε το αδέσποτο;
- Προσοχή στο τσοπανόσκυλο.
- Ο σκύλος μας θέλει η βόλτα του.
- Η τηλεόραση είναι δυνατά
- Η Μαρία ακούει μαγνητοφωνημένους ήχους.
- Ο Γιάννης κάνει μιμήσεις.
- Η γάτα μας μαθαίνει ξένες γλώσσες.

Οι απαντήσεις στην πρώτη στήλη υποθέτουν πως υπάρχει κάποιος σκύλος που γαβγίζει ενώ στη δεύτερη στήλη το γαύγισμα προέρχεται από άλλες πηγές (με την τελευταία απάντηση να αναφέρεται σε γνωστό ανέκδοτο²³). Παραλείποντας το ανέκδοτο, όλες οι απαντήσεις (υποθέσεις) μπορούν να ισχύουν ('ερμηνεύουν' τα δεδομένα) αν και καμία δεν υποστηρίζεται πλήρως από τα δεδομένα. Όταν ζητήθηκε αιτιολόγηση, κάθε απάντηση συμπληρωνόταν ανάλογα με τις υπάρχουσες εμπειρίες (με βάση τις οποίες απορρίφθηκε από όλους ως φανταστική η απάντηση με το ανέκδοτο), άρχισε δηλαδή η κάθε απάντηση-υπόθεση να ενσωματώνεται σε κάποιο μοντέλο (πχ είμαστε στην εξοχή, στο δρόμο, στο σπίτι μας και δεν έχουμε σκύλο, κλπ). Όταν ζητήθηκε να υποδείξουν ποια απάντηση φαίνεται 'πιο σωστή' άρχισαν συλλογισμοί της μορφής 'αν η κατάσταση είναι αυτή τότε μπορεί να απορριφθεί η απάντηση ...'. Ο σχεδιασμός και η εκτέλεση κατάλληλων διερωτήσεων ελέγχου καθεμιάς 'υπόθεσης' γίνεται πια μια εύκολη εργασία. Το παράδειγμα δείχνει την καταλληλότητα των 'ανοιχτού τύπου' ερωτήσεων, οι οποίες, γενικά, είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη δημιουργικής σκέψης, βασική προϋπόθεση για τον σχηματισμό υποθέσεων και την κατασκευή μοντέλων. Η δεξιότητα σχηματισμού υποθέσεων και κατασκευής μοντέλων σχετίζεται άμεσα με την επιδίωξη της κατά Gagné μάθησης σε επίπεδο 'γνωστικής στρατηγικής' (αυτό που συνήθως λέγεται δεξιότητα αντιμετώπισης προβλημάτων)²⁴.

6. Στα επόμενα, παρουσιάζονται ορισμένες περιπτώσεις στις οποίες με χρήση απλών γνώσεων Φυσικών Επιστημών σχηματίζονται μοντέλα και εξετάζονται καταστάσεις από την καθημερινή ζωή. Για κάθε περίπτωση παρουσιάζεται μια συνοπτική περιγραφή της κατάστασης και του υποτιθέμενου μοντέλου. Οι περιπτώσεις αναφέρονται ενδεικτικά ως αφορμή για περαιτέρω διερεύνηση και εξέταση.

Ταχύτητα προσγείωσης. Κατά την προσγείωση, μόλις το αεροπλάνο 'πατήσει' στο έδαφος αρχίζει



Σχήμα 2. Ταχύτητα προσγείωσης

$$g \sim 10 \text{ m s}^{-2}, a = g \text{ tg}(\phi).$$

Εκτιμήσεις:

$$t \sim 17 \text{ s}, \phi \sim 25^\circ, a \sim 4.6 \text{ m s}^{-2}$$

$$v \sim 79 \text{ m/s}, \Rightarrow v \sim 285 \text{ km/h}$$



να επιβραδύνεται (υποθέτουμε σταθερή επιβράδυνση) μέχρι να σταματήσει. Ένας επιβάτης μπορεί να υπολογίσει την ταχύτητα προσγείωσης από την σχέση $v = at$ (ταχύτητα, v = επιτάχυνση, a επί χρόνος, t) καθώς και την απόσταση τροχοδρόμησης, s , από τη σχέση $s = vt/2$. Ο χρόνος, t , μπορεί να μετρηθεί ή/και να εκτιμηθεί

εύκολα. Η επιτάχυνση, a , μπορεί να εκτιμηθεί, αν ληφθεί υπόψη πως ο επιβάτης 'αισθάνεται' το βάρος του κατά τη διάρκεια της επιβραδυνόμενης τροχοδρόμησης, όχι κατακόρυφα αλλά προς τα εμπρός (βλέπε Σχήμα 2), με μια γωνία, ϕ , η οποία μπορεί είτε να μετρηθεί (με ένα απλό εκκρεμές και ένα μοιρογνομόνιο) είτε να εκτιμηθεί. Η ίδια μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την

εκτίμηση της ταχύτητας απογείωσης. Σκεφθείτε αν αναμένεται διαφορετική ταχύτητα. Ελέγξατε τα συμπεράσματά σας και τις εκτιμήσεις σας και διερευνήσατε πιθανές ασυμφωνίες

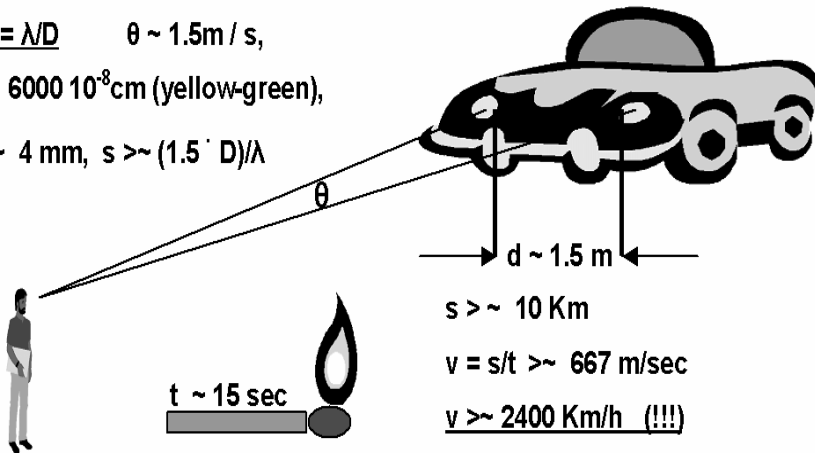
Μια διαφήμιση. Μια τηλεοπτική διαφήμιση αυτοκινήτου είχε το εξής θέμα: Σούρουπο, ένα

Σχήμα 3. Μια διαφήμιση

$$\theta \leq \lambda/D \quad \theta \sim 1.5\text{m} / s,$$

$$\lambda \sim 6000 \cdot 10^{-8}\text{cm (yellow-green),}$$

$$D \sim 4\text{mm, } s > \sim (1.5 \cdot D)/\lambda$$



σαλούν στη μέση μιας ερημιάς και ένας 'καουμπόη' ετοιμάζεται να καπνίσει το πούρο του. Τη στιγμή που ανάβει το σπίρτο προσέχει ένα φως στο βάθος του ορίζοντα. 'Κοκαλώνει' κοιτάζοντας το και σε λίγο ένα αυτοκίνητο (βρουουουουούμ,...) περνά από μπροστά του και εκείνη τη στιγμή το σπίρτο που είχε ανάψει του καίει τα δάχτυλα. Καλή διαφήμιση αλλά υπερβολική ως προς τις επιδόσεις ταχύτητας του

διαφημιζόμενου αυτοκινήτου. Η ταχύτητα του αυτοκινήτου μπορεί να υπολογιστεί από τον χρόνο, t , και την απόσταση, s , στοιχεία τα οποία προκύπτουν από την προηγούμενη περιγραφή της διαφήμισης (βλέπε Σχήμα 3). Ο χρόνος, t , είναι ο χρόνος για να καεί ένα (μεγάλο) σπίρτο, περίπου 15 sec. Η απόσταση, s , είναι τόση (ή μεγαλύτερη) ώστε τα δύο φώτα του αυτοκινήτου (μεταξύ τους απόσταση $\sim 1.5\text{m}$) να φαίνονται ως ένα. Από την οπτική γνωρίζουμε τη διακριτική ικανότητα ενός τηλεσκοπίου (ή οποιασδήποτε διόπτρας) ως $\theta = \lambda/D$, όπου λ το μήκος κύματος του χρησιμοποιούμενου φωτός και D η διάμετρος του φακού. Εφαρμογή στο ανθρώπινο μάτι με τις (συντηρητικές) εκτιμήσεις του Σχήματος 3 προκύπτει μια ταχύτητα υπερηχητική. Με βάση την ίδια σχέση για την διακριτική ικανότητα εξετάζεται το επόμενο θέμα.

Ο μεγάλος αδελφός σε παρακολουθεί. Με εξαίρεση τους Γεωστατικούς²⁵ δορυφόρους οι τεχνητοί δορυφόροι περιφέρονται σε ένα υψόμετρο 2 με 7 χιλιάδες km από την επιφάνεια της Γης. Πολλοί χρησιμοποιούνται για κατόπτευση της επιφάνειας της Γης. Τα όργανα κατόπτευσης λειτουργούν με ανιχνεύοντας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκος κύματος της τάξης των cm (βραχεία), mm και 0.1mm (δορυφορική TV, κινητή τηλεφωνία, κλπ), $10^3 - 10^2$ nm (θερμική, υπερέρυθρη, φωτεινή και υπεριώδης ακτινοβολία). Η δορυφορική κατόπτευση είναι (μπορεί να είναι) χρήσιμη στις επικοινωνίες, στην πρόγνωση του καιρού, στην 'χαρτογράφηση' της επιφάνειας και του φλοιού της Γης, στην έγκαιρη ενημέρωση για καταστάσεις ανάγκης (π.χ. φωτιές, πλημμύρες, ...), σε επιχειρήσεις διάσωσης, κλπ. Πρόσφατα δημοσιεύτηκε πως η κατόπτευση με δορυφόρους μπορεί να εντοπίσει τον αριθμό των πινακίδων κυκλοφορίας ενός αυτοκινήτου ή την μάρκα σε ένα πακέτο τσιγάρα. Με βάση τα προηγούμενα ο ισχυρισμός αυτός μπορεί να ελεγχθεί σχετικά εύκολα. Κάποιες επιπλέον παρατηρήσεις είναι χρήσιμες. Ακόμα και αν είναι δυνατή η κατόπτευση με την διακριτική ικανότητα του ισχυρισμού, οι πινακίδες των αυτοκινήτων (έτσι όπως τοποθετούνται τουλάχιστον στην Ελλάδα) δεν είναι ορατές από ψηλά²⁶. Τα ατμοσφαιρικά μετέωρα (νέφη, σκόνη, ατμοσφαιρικοί ρύποι, κλπ) απορροφούν επιλεκτικά κάποια μήκη κύματος. Οι τεχνητοί δορυφόροι στους οποίους γίνεται αναφορά έχουν περιορισμένη έκταση και ενεργειακούς πόρους. Αν και δεν αποκλείεται, η εκπομπή ακτινοβολίας από τον δορυφόρο (πχ laser στο υπερέρυθρο) και η εν συνεχεία λήψη της μετά την ανάκλαση της στην επιφάνεια της Γης είναι πολυέξοδη και πολύπλοκη τεχνικά. Η χρήση της σχέσης $\theta = \lambda/D$ για τα αναφερόμενα ανωτέρω μήκη κύματος και για μια τυπική διάμετρο φακού 20cm (μια κάμερα) ή 20m (τυπικό άνοιγμα πτερύγων ενός τεχνητού δορυφόρου) παρουσιάζουν τον υπό εξέταση ισχυρισμό ως ανέφικτο για το αναφερόμενο ανωτέρω ύψος των δορυφόρων. Αν όμως 'συγχρονιστούν' τα σήματα από δύο ή περισσότερες (όμοιες) κάμερες που βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία (π.χ. σε διαφορετικούς δορυφόρους) τότε

έχει κατασκευαστεί μια κάμερα με πολύ μεγάλο (ισοδύναμο) άνοιγμα φακού (βλέπε περισσότερα σε οποιοδήποτε βιβλίο Οπτικής)²⁷. Με τον τρόπο αυτό ο εξεταζόμενος ισχυρισμός είναι εφικτός²⁸.

Κυκλοφορικό σύστημα²⁹. Πολλά από τα θέματα λειτουργίας και υγιεινής του κυκλοφορικού συστήματος μπορούν να επιδειχθούν³⁰ με ένα μηχανικό μοντέλο αντλίας³¹ και σωληνώσεων κυκλοφορίας υγρών. Η έκταση και η αναλογία μπορούν να ελεγχθούν παρατηρώντας πιθανές διαφορές της (αρτηριακής) πίεσης για διαφορετικές θέσεις (π.χ. όρθιος, ξάπλα, καθιστός) και σε διαφορετικά μέρη (π.χ. λαιμός, χέρια, κάτω άκρα) και επιχειρώντας την ερμηνεία των ευρημάτων ως διαφορές υδροστατικής πίεσης. Με ένα τέτοιο ανάλογο μπορεί να εξεταστεί π.χ. γιατί είναι θανατηφόρα η παρουσία αέρα στα αιμοφόρα αγγεία ή οι συνέπειες της παρουσίας ενός αδιάλυτου όγκου στα αγγεία (θρόμβωση). Θέματα υγιεινής μπορούν επίσης να επιδειχτούν με την αναλογία αυτή. Για παράδειγμα, το γνωστό ‘πουρί’ των σωληνώσεων των υδραγωγείων έχει αντίστοιχο στο σύστημα κυκλοφορίας του αίματος και ποιες είναι οι συνέπειες; Ποιοι παράγοντες ενισχύουν ή εμποδίζουν την εμφάνιση του (σύνδεση με τις τροφές και την αναπνοή); Αν οι αρτηρίες χάσουν την ελαστικότητα τους ποιες θα είναι οι συνέπειες³²; Ένα άλλο παράδειγμα σχετικά με το ‘αλκοτέστ’. Με την υπόθεση πως μέσω του πεπτικού συστήματος το οινόπνευμα μεταφέρεται πολύ γρήγορα στο αίμα³³, η περιεκτικότητα σε αλκοόλη δυο ποτηριών του κρασιού (~250ml) από ένα πολύ ελαφρύ κρασί (12%vol) είναι 30ml και σε έναν ενήλικα (~6lt αίματος) ανεβάζει την περιεκτικότητα του αίματος σε οινόπνευμα στο 0.5%, ανώτατο όριο στις περισσότερες χώρες για νόμιμη οδήγηση³⁴. Με όμοιο τρόπο μπορούν να κατασκευαστούν μοντέλα για άλλες λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού. Έτσι, με ένα απλό μηχανικό μοντέλο για το στηρικτικό σύστημα (σκελετό) και την κίνηση του οργανισμού θα μπορούσε να υπολογιστεί η δύναμη στον τένοντα της φτέρνας και το έργο ανύψωσης του σώματος κατά το βάδισμα ή η κατανάλωση θερμίδων πχ για βάδισμα ή για τρέξιμο μιας ώρας.

Κινητική θεωρία. Πολλές από τις (φυσικές και χημικές) ιδιότητες των υλικών, ιδιαίτερα αυτές που σχετίζονται με τις (δύσκολες) έννοιες της θερμότητας και της θερμοκρασίας, μπορούν να επεξηγηθούν με τη συμπεριφορά (κίνηση, δυναμική ενέργεια, κλπ) των συστατικών τους σωματιδίων (άτομα, μόρια, κλπ) που κινούνται ‘χαοτικά’ (θερμική κίνηση). Είναι ένα μοντέλο που εφαρμόζεται και σε άλλες καταστάσεις, π.χ. σε νέφη αστερών ή γαλαξιών, στα ‘ελεύθερα’ ηλεκτρόνια ενός μετάλλου, στα νουκλεόνια (πρωτόνια και νετρόνια) (βαρέων) πυρήνων κλπ. Στην κινητική θεωρία, η εκατοντάβαθμη θερμοκρασία (ή θερμοκρασία Celsius³⁵), Θ , η απόλυτη θερμοκρασία (ή θερμοκρασία Kelvin³⁶), T , και η (μέση) κινητική ενέργεια, E , των σωματιδίων συνδέονται με τη σχέση $\Theta + 273.15 = T = E / k$, όπου k η σταθερά Boltzman³⁷. Η χρήση του μοντέλου μπορεί να επεξηγήσει παρατηρήσεις ως προς την κατάσταση των σωμάτων (στερεά, υγρά, αέρια) και τις μεταβολές της (τήξη, εξάτμιση, κλπ), τη διαστολή των (περισσότερων) σωμάτων με την αύξηση της θερμοκρασίας τους, κλπ. Παρά την (χαοτική) κίνηση τους τα σωματίδια κάθε υλικού ‘παραμένουν μαζί’ λόγω των ελκτικών μεταξύ τους δυνάμεων³⁸. Κάποια από αυτά μπορεί να αποκτήσουν αρκετή κινητική ενέργεια και κίνηση τέτοια ώστε να διαφύγουν από τις ελκτικές δυνάμεις των υπολοίπων, τα οποία θα έχουν χαμηλότερη μέση κινητική ενέργεια άρα χαμηλότερη θερμοκρασία, γνωστό το αίσθημα ψύχρας μετά από ένα ζεστό μπάνιο (όταν είμαστε ακόμα υγροί) ή το αντίστοιχο αίσθημα όταν αλείψουμε το δέρμα μας με μια πτητική ουσία, πχ οινόπνευμα. Παλαιότερα, όταν δεν υπήρχαν τα ψυγεία, τα ‘κανάτια της Αίγινας’ με τον ‘ιδρώτα τους’ παρείχαν δροσερό νερό. Το καλοκαίρι, τα ζεστά μέχρι βρασμού (ολόκληρα) καρπούζια των υπαίθριων πωλητών μπορούν να μετατραπούν σε ένα δροσερό (και, αν είστε τυχεροί, και νόστιμο) φαγητό αν κοπούν σε λεπτές φέτες και εκτεθούν για 1-2 λεπτά ακόμη στον ήλιο. Η καλή κατανόηση του απλού αυτού μοντέλου μπορεί να επεξηγήσει γιατί το καυτό γάλα στην κούπα κρύνει πιο γρήγορα όταν το ανακατεύουμε, γιατί η διάλυση ενός στερεού (πχ ζάχαρη) σε ένα υγρό χαμηλώνει τη θερμοκρασία του (στις περισσότερες περιπτώσεις), έστω και αν τα δύο σώματα είχαν αρχικά την ίδια θερμοκρασία³⁹, γιατί ‘βλέπουμε’ τις λέξεις μας τις κρύες ημέρες του χειμώνα, γιατί τρίβοντας δυο σώματα μεταξύ τους (πχ τα χέρια μας) αυξάνεται η θερμοκρασία τους (ταχύτερα όταν η κίνηση είναι πιο γρήγορη)⁴⁰, η γιατί φαινόμενο παγετού παρατηρείται συνήθως τις ανοιξιάτικες νύχτες με ξαστεριά. Μπορούν επίσης να κατανοηθούν φαινόμενα που

παρουσιάζονται ως αντιφατικά. Πχ τις ζεστές καλοκαιριάτικες ημέρες με κανονική ή υψηλή υγρασία, ανοίγοντας την πλευρική πόρτα του καταψύκτη του ψυγείου παρατηρείται ένας 'άσπρος καπνός' (συμπυκνούμενοι υδρατμοί) να 'κυλούν' προς τα κάτω. Αν όμως ανοίξετε το πάνω μέρος του καταψύκτη (π.χ. εκεί που έχουν τα παγωτά τα περίπτερα) ο 'καπνός' πάει προς τα πάνω. Ομοίως το ότι φυσώντας μπορεί να σβήσει τη φωτιά ενός κεριού ή να δυναμώσει τη φωτιά στο τζάκι, να ζεστάνει τα χέρια μας ή να κρυώσει την σούπα μας.

Οδηγώντας. Το από τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας όριο ταχύτητας στις κατοικημένες περιοχές είναι 50km/h. Στα περισσότερα χωριά (και πόλεις) όμως είναι 40 ή και 30 km/h. Δικαιολογείται το όριο αυτό; Είναι προφανές πως αιτιολόγηση της μορφής 'όσο αργότερα τόσο καλύτερα' δεν γίνεται αποδεκτή⁴¹. Υποθέτουμε πως ένα λογικό όριο ταχύτητας αποτελεί η μέγιστη ταχύτητα που επιτρέπει ασφαλή ακινητοποίηση του αυτοκινήτου σε περίπτωση κινδύνου, όπου βασική παράμετρο αποτελεί η απόσταση που θα διανυθεί από τη στιγμή που ο οδηγός θα αντιληφθεί τον κίνδυνο μέχρι να σταματήσει το αυτοκίνητο. Η απόσταση αυτή αναλύεται στην απόσταση που θα διανυθεί από την στιγμή που θα αντιληφθεί ο οδηγός τον κίνδυνο μέχρι να αρχίσει να φρενάρει και στην απόσταση που θα διανυθεί φρενάροντας. Ο 'χρόνος αντίδρασης' ενός οδηγού σε εγρήγορση μπορεί να εκτιμηθεί σε 0.5sec κατά τον οποίο ένα αυτοκίνητο με ταχύτητα 36km/h θα διανύσει 5m. Η απόσταση φρεναρίσματος εξαρτάται από την μέγιστη ασφαλή (χωρίς μπλοκάρισμα των τροχών και ολίσθηση) επιβράδυνση, γ , η οποία εξαρτάται από τον συντελεστή τριβής. Για $\gamma = 5\text{m/s}^2$ (ίση με το μισό της επιτάχυνσης της βαρύτητας, g)⁴² η απόσταση φρεναρίσματος είναι 10m δίνοντας ως συνολική απόσταση τα 15m. Η απόσταση αυτή⁴³ μπορεί να συγκριθεί με την απόσταση μεταξύ δυο διασταυρώσεων ή με την απόσταση που θα διανυθεί στον χρόνο που ένας πεζός προβάλλει από την γωνία για να διασχίσει τον δρόμο, στα χωριά με τους στενούς δρόμους και τα μικρά οικοδομικά τετράγωνα. Περαιτέρω διερεύνηση μπορεί να δείξει τη σημασία της λειτουργίας για τα (πίσω) φώτα των φρένων, την απόσταση ασφαλείας από το προπορευόμενο αυτοκίνητο ειδικά στους αυτοκινητόδρομους, κλπ. Χρησιμοποιώντας τις γνώσεις κινηματικής (πχ για τη φυγόκεντρο – κεντρομόλο δύναμη, το φαινόμενο του γυροσκοπίου, ...) μπορεί να διερευνηθεί η ευκολία ισορροπίας ενός κινούμενου ποδηλάτη σε σχέση με έναν ακίνητο, η διαφορετική μορφή των ελαστικών των αυτοκινήτων και των μοτοσικλετών καθώς και μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών αυτοκινήτων, η μέγιστη κλίση που μπορεί να έχει σε στροφή ένας δικυκλιστής χωρίς να ανατραπεί, η προς τα μέσα κλίση του οδοστρώματος στις στροφές των αυτοκινητοδρόμων, κλπ.

Κλπ. Χρησιμοποιώντας απλές γνώσεις, ιδιαίτερα γνώσεις Μηχανικής, κεφάλαιο που διδάσκεται σχεδόν πάντα στα σχολεία, και απλά μοντέλα μπορεί να γίνει διερεύνηση πολλών καταστάσεων, επαναφέροντας τη διδασκαλία των Φυσικών επιστημών από ένα εγκεφαλικό βιβλιοκεντρικό μάθημα σε μια άμεση μελέτη του Φυσικού κόσμου. Για παράδειγμα:

- Το προς το εσωτερικό πάχος του φλοιού της Γης στις ορεινές περιοχές και στην θάλασσα - αναλογία με το βύθισμα μεγάλων πλοίων και ελαφρών σκαφών(;
- Πόσο ανθεκτικοί είναι οι τένοντες των χεριών, των ποδιών (χρήση μηχανικής των μοχλών);
- Γιατί υπάρχουν συνήθως ποτάμια στα φαράγγια;
- Γιατί το σκονί που απλώνουν τα ρούχα δεν πρέπει να είναι πολύ τεντωμένο;
- Γιατί τα πλοία συνήθως δεν ταξιδεύουν με πλήρη ταχύτητα – έχει σχέση με την κατανάλωση καυσίμων;
- Γιατί σχηματίζονται ουρές αυτοκινήτων όταν υπάρχει έστω και μικρή στένωση του αυτοκινητόδρομου;
- Το φράγμα του ήχου στο οποίο μπορεί να συντρίβει ένα αντικείμενο σε τι οφείλεται;
- Γιατί είναι καλύτερο να στερεώνονται τα φορτία στο αυτοκίνητο με ελαστικούς μάντες και όχι με απλό σκονί (και πως αυτό σχετίζεται με την ερώτηση 'αν τυλίξουμε την Γη με ένα σκονί, πόσο παραπάνω πρέπει να προσθέσουμε για να χωράμε να περάσουμε από κάτω;
- Γιατί είναι επικίνδυνη η οδήγηση με ένα μάτι;
- Κλπ.

Σημειώσεις και Παραπομπές

⁴¹Η εργασία αυτή αποτελεί σύννοψη διαλέξεων σε προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές και πολλά στοιχεία της έχουν παρουσιαστεί σε άλλες εργασίες (βλέπε για παράδειγμα την εργασία στην παραπομπή 5). Τα ιστορικά και βιογραφικά στοιχεία που παρατίθενται έχουν συλλεχθεί από διάφορες πηγές, κυρίως από τα ηλεκτρονικά βοηθήματα: Webster's Concise Encyclopaedia CD-Rom version 1.23 of 1994, the Encyclopaedia Britannica CD2000 CD-Rom,

the Microsoft Encarta Encyclopaedia 2000 Deluxe, Larousse Multimédia Encyclopédique. Πολλά σημεία της έχουν επίσης παρουσιαστεί σε συνέδρια.

²Βλέπε σχετικά στο: Π. Μιχαηλίδης, "Πρόταση Επιμόρφωσης Δασκάλων στις Φυσικές Επιστήμες με το Διαδίκτυο", Πανελλήνιο Συνέδριο με Διεθνή Συμμετοχή με τίτλο "Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση και στην Εκπαίδευση από Απόσταση", Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης Πανεπιστημίου Κρήτης, Ρέθυμνο 8-10 Ιουνίου 2001, πρακτικά σ. 148-158.

³Η αποτελεσματική διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας στην υποχρεωτική εκπαίδευση ιδιαίτερα αποτελεί προϋπόθεση για τον επιστημονικό και τεχνολογικό αλφαριθμητισμό των πολιτών, κάτι που η UNESCO χαρακτηρίζει ως 'δημοκρατικό δικαίωμα' (δικαίωμα στην δημοκρατία).

⁴Ευχαριστώ τον συνάδελφο Κ. Κωνσταντίνου του τμήματος Επιστημών της Αγωγής του Πανεπιστημίου Κύπρου που μου επεσήμανε τον όρο διερώτηση.

⁵Βλέπε σχετικά στο P. G. Michaelides, 'Everyday observations in relation with Natural Sciences', University of Cyprus, 'Post Graduate Intensive Summer Program on the Didactics of mathematics and Science', proceedings (A. Gagatsis, editor).

⁶A. F. Chalmers, 'What is this thing called Science? An assessment of the nature and status of science and its methods', University of Queensland Press, St. Lucia; it has been also translated in Greek by the University Editions Of Crete

⁷Stephen F. Barker, 'The Elements of Logic', McGraw-Hill book Company 1989.

⁸Steven M. Cahn, 'A new Introduction to Philosophy', Harper & Row, publ. 1971

⁹'Teaching Science', Routledge, 1994, edited by Ralph Levinson at The Open University.

¹⁰Albert Einstein – Leopold Infeld, 'The evolution of Physics'. Έχει μεταφραστεί στα ελληνικά από τον Ε. Μπιτσάκη με τον τίτλο 'Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική' εκδόσεις Δωδώνη.

¹¹Max Born, 'Experiment and Theory in Physics', Cambridge University Press.

¹²Ο σχηματισμός εναλλακτικών υποθέσεων είναι επίσης απαραίτητος για τα επόμενα βήματα 2-4 και 2-6

¹³Εφόσον, φυσικά, παραμένουμε στα πλαίσια της ίδιας Λογικής. Άλλης μορφή Λογική (δηλαδή άλλος τρόπος σκέψης) σημαίνει διαφορετικό ανθρώπινο είδος.

¹⁴Wolfgang Pauli 1900-1958. Αυστριακός Φυσικός, πήρε το βραβείο Nobel το 1945 για τη δουλειά του στην ατομική δομή.

¹⁵Ο Ποσειδώνας, όγδοος πλανήτης του ηλιακού συστήματος, εντοπίστηκε το 1846 από τους Γερμανούς αστρονόμους J. G. Galle και Heinrich d' Arrest (1822 – 1875) μετά από υπόδειξη του Γάλλου μαθηματικού Urbain Leverrier. Ο Άγγλος αστρονόμος John Couch Adams και ο Γάλλος μαθηματικός Urbain Leverrier υποθέσανε την ύπαρξη του Ποσειδώνα και υπολογίσανε την τροχιά του από τις 'διαταραχές' (ασυμφωνία παρατηρήσεων και εφαρμογής της 'θεωρίας') στην τροχιά του Ουρανού. Ο Πλούτωνας είναι ο μέχρι τώρα μικρότερος και πιο απομακρυσμένος πλανήτης του ηλιακού μας συστήματος. Ο Percival Lowell (1855-1916) με υπολογισμούς προέβλεψε την ύπαρξη του Πλούτωνα, τον οποίο εντόπισε πολύ αργότερα, το 1930, ο Clyde Tombaugh, ο οποίος εργαζόταν στο αστεροσκοπείο Lowell στο Flagstaff της Αριζόνα, το οποίο ίδρυσε ο Lowell Percival.

¹⁶Στις Φυσικές Επιστήμες, πολύ συχνά χρησιμοποιούνται ως τεχνικοί όροι, λέξεις οι οποίες χρησιμοποιούνται και στη καθημερινή ζωή με συναφές ή και εντελώς διαφορετικό περιεχόμενο και για τις οποίες υπάρχουν επίσης και πιο συνηθισμένες συνώνυμες λέξεις (βλέπε π.χ. τις λέξεις, ενέργεια, οινόπνευμα, έργο, ύδωρ, κλπ). Είναι λάθος το παρατηρούμενο σε κάποια βιβλία, να χρησιμοποιούνται, ως τεχνικοί όροι οι συνώνυμες αυτές λέξεις, π.χ. με το πρόσχημα πως είναι πιο οικείες στα παιδιά. Άλλωστε οι τεχνικοί όροι πρέπει πάντοτε να αποσαφηνίζονται ώστε να γίνεται κατανοητή η ομοιότητα τους αλλά και η διαφορά τους από την έννοια με την οποία χρησιμοποιούνται στη καθημερινή ζωή.

¹⁷Αποτελούν πραγματικές απαντήσεις από διδασκαλία σε διάφορες ηλικίες. Η σύγχυση παρατηρείται σε μεγαλύτερο βαθμό στις μεγαλύτερες ηλικίες, ίσως γιατί οι μικρές ηλικίες δεν έχουν ακόμη ακούσει 'τη θεωρία' για να την απομνημονεύσουν.

¹⁸Κατά τον Einstein τα ερεθίσματα που προκαλούν τα φυσικά φαινόμενα στις αισθήσεις μας μετατρέπονται σε αντιληπτικές έννοιες (concepts). Οι έννοιες αυτές μπορεί να είναι διαφορετικές από άνθρωπο σε άνθρωπο, όμως η κοινή τους προέλευση (το συγκεκριμένο φυσικό φαινόμενο) επιτρέπει μια αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία μεταξύ αυτών των (διαφορετικών ίσως) εννοιών που επάγονται σε διαφορετικούς ανθρώπους. Αυτό αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα μόνο για τις έννοιες που προέρχονται από φυσικά φαινόμενα. Ο Einstein ονομάζει αυτές τις έννοιες 'αλήθεια' (truth) και την μελέτη των εννοιών αυτών 'Φυσική' (βλέπε περισσότερα στο Albert Einstein 'The Lectures at Princeton').

¹⁹Η αναλογία αυτή αν και χρήσιμη στους επιστήμονες των αρχών του 1900 είναι προβληματική όταν χρησιμοποιείται αυτούσια κατά την διδασκαλία της Φυσικής στην υποχρεωτική εκπαίδευση. Τα παιδιά στις ηλικίες αυτές δεν έχουν εποπτεία ούτε του ηλιοκεντρικού συστήματος (αντίθετα βλέπουν τον ήλιο, το φεγγάρι κλπ να κινούνται γύρω από τη Γη) ούτε του ατόμου, του οποίου τις διαστάσεις, πολύ περισσότερο τη δομή, είναι δύσκολο να αντιληφθούν.

²⁰Ερατοσθένης (276-194 πΧ), Έλληνας γεωγράφος και μαθηματικός της Σχολής της Αλεξάνδρειας, του οποίου οι χάρτες ήταν οι πρώτοι με σημειωμένα τα γεωγραφικά πλάτη και μήκη. Στα επιτεύγματα του περιλαμβάνεται μέθοδος για τον διαπλασιασμό ενός κύβου καθώς και για την εύρεση πρώτων αριθμών (κόσκινο του Ερατοσθένη).

²¹Βλέπε Π. Γ. Μιχαηλίδη, 'Πολυμορφικές Ασκήσεις Φυσικής', πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για την Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, ΠΤΔΕ Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 29 Απριλίου – 1 Μαΐου 1998 σελίδες 399-405.

- ²²Τα παραδείγματα στην εργασία αυτή αποτελούν συνθέσεις εμπειριών από πραγματικές διδασκαλίες σε διάφορα επίπεδα εκπαίδευσης. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα υπήρξε μια μεγάλη επικάλυψη όμοιων απαντήσεων από μαθητές δημοτικού, από δασκάλους (σε επιμορφωτικά μαθήματα και στην 'Εξομείωση'), από καθηγητές ΠΕ4 (σε επιμορφωτικά μαθήματα) και από φοιτητές (σε προπτυχιακό και σε μεταπτυχιακό επίπεδο). Η συνέχεια όμως ήταν διαφορετική με τους μαθητές του δημοτικού να απαντούν πιο πρόθυμα (και, συνήθως, πιο εφευρετικά) από τους μεγαλύτερους, πολλοί από τους οποίους έδειχναν εμφανή διστακτικότητα.
- ²³Για να γλιτώσει από τη γάτα ένα ποντίκι καταφεύγει στην τρύπα του. Λίγο αργότερα ακούει ένα γαύγισμα, υποθέτει πως εξαιτίας του σκύλου η γάτα έφυγε, βγαίνει έξω, πουθενά σκύλος, το αρπάζει η γάτα, η οποία, βλέποντας το ποντίκι να απορεί του λέει 'σήμερα αν δεν ξέρεις μια ξένη γλώσσα δεν μπορείς να ζήσεις'.
- ²⁴Βλέπε περισσότερο στο Γ.Φλουρή 'Η Αρχιτεκτονική της Διδασκαλίας και η Διαδικασία της Μάθησης', εκδόσεις Γρηγόρη.
- ²⁵Οι Γεωστατικοί δορυφόροι περιφέρονται σε τόση απόσταση από τη Γη (~35 χιλιάδες km,) ώστε η περίοδος περιφοράς τους να είναι όση και η περίοδος περιστροφής της Γης (μια ημέρα) και έτσι παρουσιάζονται σαν να 'στέκονται' μονίμως πάνω από ορισμένο σημείο της Γης. Χρησιμοποιούνται κυρίως ως αναμεταδότες στις ηλεκτρονικές τηλεπικοινωνίες (τηλέφωνα, TV, ...) και στον 'γεωγραφικό προσανατολισμό (GPS). Η ιδέα των Γεωστατικών δορυφόρων προτάθηκε από τον Εγγλέζο συγγραφέα Sir Arthur C(harles) Clarke, το 1945. Ο A. C. Clarke, ο οποίος χρίστηκε ιπότης το 1998 γεννήθηκε το 1917 στο Minehead, Somerset της Αγγλίας έχει γράψει και πολλές ιστορίες επιστημονικής φαντασίας με περισσότερο γνωστή από την μεταφορά της στον κινηματογράφο την 2001: a Space Odyssey (1968).
- ²⁶Ο 'δορυφορικός' εντοπισμός κλεμμένων αυτοκινήτων που διαφημίζουν ορισμένα συστήματα ασφαλείας βασίζεται στον γεωγραφικό εντοπισμό (πχ μέσω GPS) των ειδικών σημάτων που εκπέμπει τοποθετημένος στο αυτοκίνητο πομπός και όχι σε 'κοσκίνισμα' των αριθμών των πινακίδων κυκλοφορίας.
- ²⁷Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στην κατασκευή του τηλεσκοπίου Keck στο αστεροσκοπείο του Mauna Kea, Hawaii, το οποίο λειτούργησε για πρώτη φορά το 1990. Πήρε το όνομα του από το ηφαιστειογενές βουνό στην κορυφή (4205m ύψος) του οποίου βρίσκεται και λειτουργεί με τη συνεργασία των California Institute of Technology και the University of California. Ο 'φακός' του αποτελείται από 36 εξαγωνικά τμήματα 'διαμέτρου' 2m καθένα που ελέγχονται και συντονίζονται από ισάριθμους ηλεκτρονικούς υπολογιστές δίνοντας ένα τηλεσκόπιο με 'φακό' ισοδύναμης διαμέτρου 10m.
- ²⁸Δικαιολογείται και η αντίστοιχη 'ατάκα' (βάλε τους δορυφόρους να βλέπουν στο ...) που ακούγεται σε σχετικές ταινίες.
- ²⁹Σύστημα αγγείων δια των οποίων μεταφέρονται προς τα μέρη του σώματος διάφορες απαραίτητες ουσίες (κυρίως αίμα). Το αίμα κυκλοφορεί από την καρδιά μέσω των αρτηριών προς τους ιστούς από όπου επιστρέφει προς την καρδιά μέσα από τις φλέβες (μεγάλη κυκλοφορία). Επίσης, στα πτηνά και στα θηλαστικά, το αίμα, με τη μικρή κυκλοφορία μεταφέρεται από την καρδιά προς τους πνεύμονες, όπου αποβάλλονται διάφορες ουσίες (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα κλπ προϊόντα από τη λειτουργία του οργανισμού) και εμπλουτίζεται με οξυγόνο, το οποίο, μέσω της μεγάλης κυκλοφορίας μεταφέρεται προς τους ιστούς. Οι καρδιακές 'βαλβίδες' εξασφαλίζουν τη ροή του αίματος προς τη 'σωστή' κατεύθυνση. Η μεταφορά από τις αρτηρίες στους ιστούς και μετά στις φλέβες γίνεται με τα 'τριχοειδή αγγεία'. Εκτιμάται πως το συνολικό μήκος των αιμοφόρων αγγείων ανέρχεται σε 96500km (!) και μέσω αυτών το αίμα μεταφέρει οξυγόνο και άλλα (π.χ. θρεπτικά) συστατικά προς τους ιστούς από όπου παραλαμβάνει για αποβολή (π.χ. μέσα από το λυμφατικό κύκλωμα) προϊόντα της λειτουργίας του οργανισμού. Η συνολική ποσότητα αίματος ενός ενήλικα είναι περίπου 6lt. Η αρτηριακή πίεση οφείλεται στη συστολή της καρδιάς που ωθεί το αίμα προς τις αρτηρίες. Μετρείται σε cmHg και διακρίνεται σε μεγάλη (συστολική - όταν συστέλλεται η καρδιά και ωθεί το αίμα προς τις αρτηρίες οι οποίες διαστέλλονται) και μικρή (η πίεση που διατηρούν μέχρι την επόμενη καρδιακή συστολή οι αρτηρίες επανασυστέλλομενες ώστε να ωθούν το αίμα προς τα τριχοειδή αγγεία που ενεργούν ως ρυθμιστές σταθερής παροχής του αίματος προς τους ιστούς). Τυπικές τιμές πίεσης υγιούς νεαρού ατόμου θεωρούνται οι 12/8, (δηλαδή 12/76 ατμόσφαιρες για τη μεγάλη και 8/76 ατμόσφαιρες για τη μικρή).
- ³⁰Η χρήση μηχανικών αναλόγων για τη λειτουργία συστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού συνιστάται ρητά στο Αναλυτικό Πρόγραμμα του Δημοτικού για τις Φυσικές Επιστήμες.
- ³¹Η αντλία πρέπει να είναι παλινδρομικού τύπου όπως π.χ. οι αντλίες που έχουν σε πολλά πηγάδια με κίνηση του μοχλού τους πάνω-κάτω. Οι περιστροφικές και φυγοκεντρικές αντλίες δεν είναι κατάλληλες για την αναλογία αυτή.
- ³²Η ασθένεια αυτή σχετίζεται επίσης με υψηλά επίπεδα χοληστερίνης, της οποίας η λειτουργία μπορεί επίσης να ερμηνευθεί με το ανάλογο αυτό.
- ³³Οι χειρώνακτες εργάτες συνήθιζαν να έχουν ένα ή δύο ποτήρια κρασί στα διαλείμματα τους ως μέσο γρήγορης αναζωογόνησης.
- ³⁴Αυτό αποτελεί νομικό κριτήριο μόνο. Οι φυσιολογικές επιπτώσεις μπορεί να είναι περισσότερο έντονες για ορισμένα πρόσωπα. Το παράδειγμα είναι ενδεικτικό γιατί αγνοεί άλλες παραμέτρους της λειτουργίας του οργανισμού.
- ³⁵Ο βαθμός στην εκατοντάβαθμη κλίμακα (°C) ονομάστηκε επίσημα θερμοκρασία Celsius το 1948 για να αποφεύγεται η σύγχυση με τον βαθμό, μονάδα μέτρησης γωνιών. Η κλίμακα Celsius ονομάστηκε προς τιμήν του Σουηδού αστρονόμου (1701-1744), ο οποίος την εισήγαγε το 1742 αλλά αντίστροφα (σημείο βρασμού οι 0° και σημείο πήξης οι 100°)
- ³⁶Kelvin William Thomson, 1^{ος} βαρόνος Kelvin 1824-1907. Ιρλανδός Φυσικός, εισήγαγε την κλίμακα Kelvin ή κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας. Η αρχική κλίμακα επαναπροσδιορίστηκε ώστε το τριπλό σημείο του ύδατος να

αντιστοιχεί σε 273.16°K. Πέρα από τις πολλές συνεισφορές του στην Φυσική, (πχ το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα το 1851) ήταν δημοφιλής και για τις εφευρέσεις του στον τηλεγράφο, στις υπερατλαντικές επικοινωνίες, στην πρόβλεψη της παλίρροιας, στη βελτιωμένη πυξίδα και σε απλούστερες μεθόδους προσδιορισμού της θέσης ενός πλοίου στην θάλασσα.

³⁷Boltzmann Ludwig 1844–1906. Αυστριακός Φυσικός γνωστός για τις μελέτες του στην κινητική θεωρία των αερίων (κατανομή Boltzmann). Η σταθερά Boltzmann 1.380662×10^{-23} joules/°K ισούται με τη σταθερά των αερίων, R, δια του αριθμού του Avogadro.

³⁸Οι δυνάμεις αυτές είναι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις (π.χ. οι δυνάμεις συναφείας) για τα υλικά, οι πυρηνικές δυνάμεις για τα συστατικά των πυρήνων, οι βαρυτική δύναμη για τους αστέρες και τους γαλαξίες, κλπ.

³⁹Επίσης γιατί, όταν βιάζεστε το πρωί και το τσάι σας είναι πολύ καυτό είναι προτιμότερο να ανακατέψετε το τσάι όσο χρόνο επιτρέπει η βιασύνη σας και να προσθέσετε στο τέλος την ζάχαρη και/ή το γάλα παρά αντίστροφα.

⁴⁰Χρησιμοποιώντας αυτήν την παρατήρηση και κάποιες απλές υποθέσεις μπορείτε να διερευνήσετε αν και πόσο αυξάνει το μήκος ενός αεροπλάνου Concorde που πετάει (η επιμήκυνση είναι της τάξης των 40cm). Το Concorde, ένα από τους δύο τύπους επιβατικών υπερηχητικών αεροπλάνων (ο άλλος είναι το σοβιετικό Tupolev Tu-144 που πρωτοπέταξε για δοκιμές το 1968) αποτελεί κοινή ΑγγλοΓαλική συνεργασία και πρωτοπέταξε για δοκιμές το 1969 και άρχισε δρομολόγια το 1976. Η ταχύτητα που πετά είναι 2 Mach (δύο φορές η ταχύτητα του ήχου). Έχει μήκος 62m, άνοιγμα φτερών 26m.

⁴¹Διαφορετικά η ακινησία ή το περπάτημα θα ήταν καλύτερα και τα αυτοκίνητα, ιδιαίτερα τα γρήγορα, θα ήταν απαγορευμένα στις κατοικημένες περιοχές (ή θα ακολουθούσαν κάποιον προπορευόμενο πεζό που θα ειδοποιούσε για τον επερχόμενο κίνδυνο!).

⁴²Αντιστοιχεί στο να ανεβαίνει το αυτοκίνητο χωρίς να σπινάρουν οι τροχοί του έναν ανήφορο με κλίση ~50%.

⁴³Στην πραγματικότητα απόσταση θα είναι μεγαλύτερη αν ο δρόμος είναι υγρός, τα ελαστικά φθαρμένα, ο οδηγός σε χαλάρωση (πχ λόγω κατανάλωσης οινοπνεύματος ή άλλων ουσιών), κλπ.